



TITLE:

インターネットを利用した遠隔合同ゼミナールの実現

AUTHOR(S):

布上, 康夫

CITATION:

布上, 康夫. インターネットを利用した遠隔合同ゼミナールの実現. 経済論叢 1999, 163(1): 1-36

ISSUE DATE:

1999-01

URL:

<https://doi.org/10.14989/45255>

RIGHT:

經濟論叢

第163巻 第1号
定道 宏教授記念號

献 辞.....	渡 邊 尚	
インターネットを利用した 遠隔合同ゼミナールの実現.....	布 上 康 夫	1
パーソナルウェアの概念と機能.....	松 本 良 治	37
デジタルビデオ編集システム.....	広 田 雅 彦	51
輸出入統計データベースシステムの設計.....	宮 崎 耕	64
インターネット時代における グループウェア・メール.....	高 井 才 明	75
デジタルユニバーシティへの第一歩.....	細 井 真 人	99
国際会議とインターネット.....	中 村 素 典	112

定道 宏 教授 略歴・著作目録

平成11年1月

京 都 大 学 経 済 学 會

インターネットを利用した 遠隔合同ゼミナールの実現

布 上 康 夫

I は じ め に

音声や映像などのメディアはわれわれの視覚と聴覚に直接作用することから非常に効果的なコミュニケーションの手段である。教育の分野ではこれらのメディアを利用した視聴覚教材の開発や効果的な利用方法に関する研究がこれまでも活発に行われてきたが、音声や映像などのメディアはネットワークを介しての配信が困難であったためにその利用は教室内などの閉じた空間に限定されていた。

最近のネットワーク技術はインターネットの上でもこれらのマルチメディアの配信を可能にしてきている。これに伴い Sadamichi [1996] らの「京都大学経済学部のインターネット遠隔講義」にみられるように¹⁾，インターネット上でもマルチメディアを利用して遠隔学習（distance learning）を行おうとする動きが台頭し顕在化してきている。

本稿は、マルチメディアのリアルタイム配信技術を用いてインターネット上で複数のゼミナールを合同して実施しようとする遠隔合同ゼミナール（Distance Joint Seminar）ならびにその実現の可能性について考察したものである。

1) Sadamichi, Hiroshi et al., "A Load - Share System Configuration for Distance Learning - In Case of Economic Department of Kyoto University -," *Kyoto University Economic Review*, Vol. 66, No. 1/2, Apr./Oct. 1996, pp. 1-6.

II インターネットを利用した遠隔学習

1 遠隔学習の形態

遠隔学習にはさまざまな形態があるが、講義方式と配信メディアの種類を基準にすると、表1に示すように、6つの形態に分類することができる。

講義には、生徒の反応や質問などを考慮に入れずに単に教師から生徒へという単方向型講義と、常に相手の反応を考慮して教師と生徒間での質疑応答を繰り返しながら講義を進める双方向型講義の2つの方式がある。

配信メディアの種類には、放送メディア、専用回線メディア、インターネットメディアの3つがある。放送メディアによる遠隔学習とは、広範囲に分布している不特定多数の受講生を対象にして、地上放送設備や衛星放送設備から送り出される放送波を用いて教育する方法である。専用メディアによる遠隔学習とは、距離的に離れているキャンパスの講義室にいる特定多数の学生を対象にして、専用映像回線で接続されたスタジオあるいは他のキャンパスの講義室から配信される情報を用いて教育する方法である。これに対して、インターネットメディアによる遠隔学習とは、インターネットに接続可能な不特定多数の任意の利用者を対象にして、インターネット上で情報を配信し教育する方法である。

これらの方式にはそれぞれ長所と短所がある。まず、費用面では、講義方式と使用するメディアの種類によって大きく異なる。情報の送信と受信に要する費用を比較すると、テレビ放送の送信設備と受信設備には大きな差があることからわかるように、前者は後者に比べて圧倒的により高額な設備を必要とするためにいずれのメディアについても送信設備と受信設備の両者を同時に必要とする双方向型の講義方式は、単方向型の講義方式より費用がかさむ。

しかし、方向性による費用の相違以上に使用するメディアの種類によって遠隔学習を実現するための費用は大きく異なる。地上放送や衛星放送を使用した遠隔学習は、他の2つに比べて圧倒的に莫大な費用がかかる。専用回線を使用

表1 遠隔学習の形態

	放送メディア	専用回線メディア	インターネットメディア
単方向	教育テレビ 受験講座	講義中継	インターネット放送
双方向	スペース・コラボレー ション・システム	遠隔講義	インターネット講義

した遠隔学習については、放送メディアほどでもないが、それでも回線の使用料や講義室の送受信設備などにかかなりの費用がかかる。これに対してインターネットを利用した遠隔学習は、昨今の大学では普遍的なインフラストラクチャになっている既存のインターネットをそのまま利用するためにわずかな費用で実現しうる。

配信されるメディアの品質や双方向通信で問題になる送受信間の遅延は、使用するメディアの種類によってのみ左右される。高品質で大容量の専用回線を敷設すれば、鮮明で遅延のない高品質の映像の配信が可能になるが、現在のところ最も高品質な音声や動画像を遅延なく配信しうるメディアは専用回線メディアであり、放送メディア、インターネットの順に品質が低下する。また、インターネットメディアにおいては、他の2つのメディアでは常に配信が安定しているのに対し、回線の混雑程度や距離によっても品質は影響をうけるという欠点がある。

利用面では、放送メディアでは使用しうるチャンネル数は限定されているために事前に開催日時や使用時間帯を調整する必要がある。同様に専用回線メディアにおいても使用しうる場所が限定されているためにその使用には制約がある。これに対してインターネットを使用した遠隔学習では、使用時間などに何ら制限がなく自由に使用することができるという、きわめて利便性に富む方式であるといえる。

このようにインターネットを利用した遠隔学習方式は経済性と利便性という2つの点で非常に注目し得る遠隔学習の方式であるといえる。今日では多く

の教育機関や各種団体がインターネットを利用した遠隔学習の実験的な試みに取り組んでいるが、その大部分は単方向の講義方式を採用したものである。教育的な効果という視点からみると、双方向を指向した教育形態が望ましいことはいうまでもない。それにもかかわらずこれまでこの方式が採用されなかったのはその実現にかなりの技術的困難をともなったことによる。これに対し、定道 [1996] らが開発した京都大学経済学部²⁾の遠隔学習システムは、「教育は双方向型で実施すべきである」という基本的な認識に基づいて、インターネットとマルチメディアのもつ特徴を最大限に活用すると同時に、高度な WWW 構築技術を駆使した先駆的なシステムである²⁾。

まず第1に、システムは今後のインターネットとマルチメディアの技術進歩に柔軟に対応できるように設計されていることである。インターネットとマルチメディアに関連した技術の進歩は極めて著しい。この技術の進歩のスピードを考慮に入れずに、単に設計時点において利用可能な技術のみを前提にしてシステムを設計した場合、構築が完了した時点でその技術は陳腐化し、最悪の場合にはシステムそのものが使い物にならなくなることが多い。かれらのシステムは設計段階において各種の技術の動向と進歩のスピードを十分に検討したうえで技術の安定度を規準にしてモジュール化するという設計方式が採用されている。したがって、圧縮方式などに新たな技術が開発された場合にはその部分のみを改良すれば常に最新の技術水準に対応したシステムに容易に改良することができる。

第2に、これまで実現がきわめて困難であるとみなされていた双方向の講義方式をインターネット上で実現していることにある。さらには、現在多くのサイトでみられる単方向・蓄積型という講義方式に加え、双方向で配信した講義内容そのものを蓄積して単方向の講義方式でも配信するメカニズムを提供して

2) このシステムの詳細な部分については、定道 宏、細井真人「京都大学経済学部におけるインターネット遠隔講義システム」『オフィス・オートメーション第37回全国大会予稿集』1998年5月、137-140ページを参照されたい。

いることにある。

第3に、インターネットは回線の伝送レートが異なる多種多様なネットワークを結合したものであるが、多様な伝送レートの経路からのアクセスをストリーミング配信技術と WWW 技術を組み合わせることによって可能にしていることにある。学内の高速な ATM-LAN に接続されている利用者には、MPEG 1 に準拠したインターネット上でのオーディオ・ビジュアル情報の配信を行い、また、ISDN 回線を用いて接続した利用者には若干品質は劣るが、stream works によるオーディオ・ビジュアル情報の配信を可能にしている。

2 遠隔合同ゼミナールとは

定道 [1994] の「21世紀の情報教育」にあるように³⁾、マルチメディアとインターネットに象徴されるような情報社会の到来は、社会科学系学部のカリキュラム体系そのものに大きな影響を及ぼしてきている。かつては数科目であった情報関連の科目が、カリキュラムの改正がおこなわれるたびに増加し、今日では情報関連の科目は学部カリキュラム全体のなかで大きなウエイトを占めるようになってきている。情報社会の到来は、単にカリキュラムの構成に変化を及ぼしたのみならず、ゼミナール教育の内容や実施方法そのものにも大きな影響を及ぼしてきている。

ゼミナール教育は、単位数や時間割の配当時間数は少ないものの講義と並ぶ主要な教育手段であり、いずれの学部においてこれを非常に重要視した教育を行っている。たとえば、情報処理をメジャーとする社会科学系のゼミナール生の究極的な教育目標を定道 [1998] の提言にあるような「21世紀における情報人間」のように設定した場合⁴⁾、次のような2つの問題に直面する。

3) 社会科学系の学生のための情報処理教育については、定道 宏「社会科学の学生のための情報処理教育」『オフィス・オートメーション』Vol. 15, No. 2, 1994年6月, 13-19ページを参照されたい。

4) 21世紀における情報人間については『オフィス・オートメーション第37回全国大会予稿集』1998年5月, 34-38ページを参照されたい。

まず第1に情報処理技術の拡大に伴い、教育すべき範囲も拡大しより高度な専門的な教育を行う必要性が生じてきていることである。

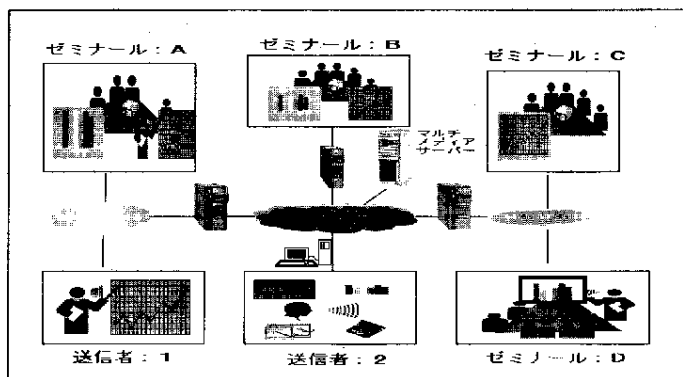
第2に教育範囲の拡大と内容の専門化は、ゼミナール教育に費やすことのできる絶対的な時間数の不足をもたらし、教員個人レベルでの対応を非常に困難なものにしつつある。

遠隔合同ゼミナール (Distance Joint Seminar) とは、教育範囲の拡大と内容の高度化ならびに絶対的なゼミナール教育の時間数の不足に対処するために、遠隔学習のアプローチをゼミナール教育に適用して、学部内の複数のゼミナール間、あるいは他大学のゼミナールと連携しながらインターネット上のマルチメディアを利用してゼミナール教育を合同で実施しようとするものである。

ところで、マルチメディアとは、テキスト、静止画像、音声、動画などのメディア情報を、「テキストと音声」や「音声と動画」などのように複数個組み合わせたメディアである。マルチメディアは、伝統的なテキスト中心のメディアと比較してマルチメディアは豊かな表現能力を持っておりコミュニケーションの有効な手段ではあるが、遠隔合同ゼミナールで「インターネット上のマルチメディア」を特に重要視する理由は次のような新たな利用方法が可能になるからである。すなわち、「従来の単に音声と動画を組み合わせた利用を越えて、複数のホストが送り出す異なる種類のメディアを、インターネットというネットワークレベルでマルチプレックスして他の複数のホストに送信し、受信側のホストでは、複数のホストから送信されてきたマルチプレックス・マルチメディアデータをデマルチプレックスして必要なメディアのみを利用するという新たな利用形態」が可能になるということである。

図1はインターネット上の4つのゼミナールと2つの送信者ならびにメディアサーバーが合同して遠隔ゼミナールを実施している様子を概念的に表わしたものである。4つのゼミナール A, B, C, D はそれぞれの音声と映像をインターネットで接続された相手のゼミナールに送信する。また、送信者1はパソコンの画面や PowerPoint のプレゼンテーション画面を音声と同時に4つの

図1 遠隔合同セミナー



ゼミナールにスライドキャストし、送信者2はテキスト形式のコメントと音声をインターネット上に送信する。インターネットに接続されたメディアサーバーは合同ゼミナールの様子を再生・記録するためのものである。合同ゼミナールの参加者は必要に応じてメディアサーバーに蓄積された情報を検索して再生し、同時に現在進行中のゼミナールの様子をメディアサーバーに記録する様子を表わしている。

3 マルチメディアデータ伝送上の問題点

潜在的に大きな表現能力をもつマルチメディアの中でも、特に音声と動画像、さらにはこれらの2つのメディアを組み合わせたメディアには他のメディアにみられないような次の3つの特徴がある。

- ① 従来のテキスト型メディアの情報量に比較してこれらのメディアは膨大な情報量をもっていることである。たとえば、35文字27行からなるテキスト1ページはわずか2kバイトの情報量しかないが、8kHzでサンプリングし8ビットで量子化した1秒間の音声は8kバイトの情報量をもち、CIFサイズのYCrCb方式による30フレームレートの1秒間の動画像は約1Mバイトの情報量をもつ。このため、このような膨大な情報量のマ

ルチメディアデータをインターネット上で配信するためには非常に高速な伝送レートの回線もしくは強力な圧縮技術が必要になる。

- ② 音声と動画は元来時間的に連続したアナログ情報である。送信元で時間的に連続して発生する情報は、受信側においても時間的に連続して再生する必要がある。とぎれとぎれの音声や画像はコミュニケーションの有効な手段になり得ないのみばかりか雑音以外のなにものでもない。さらにこれらのメディアを双方向で利用する場合には、国際電話では 150 ms 以上の遅延は不自然になるといわれているように、一定限度以上の遅延は許されないことである。

- ③ 「音声と動画」を組み合わせたメディアは唇の動きにあわせて音が再生される必要がある。このタイミングがずれると、たとえば外国語の吹き替え放送で唇の動きと音声の再生がずれたとき、非常な違和感をもつ。このように複数のメディアを組み合わせるとメディアの組み合わせ型によっては再生の連続性以外に同期をとる必要が生じてくる⁵⁾。

WWW のブラウザで JPEG や PNG などの静止画像を利用する場合にはデータ量が比較的少ないために必要なデータをすべて転送しおえてから再生するという方式が可能である。しかし、音声や動画のような膨大でしかも時間的に連続していなければならないデータにこれらの方式を採用すると、大きな蓄積媒体が必要になると同時に伝送に非常に多くの時間がかかる。十分なバッファと高速な CPU、さらに高速な伝送レートの回線があればこのような方式も不可能ではないが、これを回避しようとすればこのようなマルチメディアデータはリアルタイムに配信せざるをえない。

このような特徴のために音声と動画のマルチメディアを利用したアプリケーションシステム、たとえばテレビ電話やグループ会議システムなどの多くは電話網や ISDN のような品質保証型のキャリア系のネットワークを前提に開発されてきた。ところが最近では、効率の良い符号化、ギガビット ethernet

5) このような性質を持つメディアは等時性メディア (isochronous media) と呼ばれている。

や ATM の技術に代表されるようなネットワークの高速化、さらには新たなリアルタイムプロトコルの開発などによって、従来は不可能とされていた音声や映像の配信がインターネット上でも可能になってきている。

インターネット上でマルチメディア情報を配信するときのキーポイントは、膨大な情報量のマルチメディアデータをいかに効率よく圧縮するかということと、伝送に揺らぎと遅延のあるネットワーク上でいかにしてリアルタイム型のデータを配信し再生の連続性を保つかという2点にある。

以下では後者の問題に焦点をあててリアルタイム型のデータを配信するときの諸問題について考察する。

III インターネットにおけるリアルタイムデータの配信技術

ネットワーク上におけるデータの交換方式には、電話のように通信を始める前に相手と回線を確保して終了時点で回線を開放する方式と、インターネットのように回線を接続せずにリレー式中継点（ルータ）を経由してデータを伝送する方式とがある。前者の方式は回線を排他的に利用し通信の間回線を専有するために費用がかかるが、リアルタイムデータのように時間的な連続性を重要視した通信に適した方式である。後者の方式は回線を共有して使用することができるために費用の面で非常に優れており、ファイル転送のような時間的な連続性を必要としないデータには低コストで利用効率の良い方式であるといえる。さらに後者の方式では、① 中継処理にわずかではあるが時間がかかること、② 中継点間の通信回線の容量にはばらつきがあること、③ ネットワークの混雑度や伝送経路によっても伝送レートは大きく左右されることなどから、これまでリアルタイムデータの伝送は不可能であるとされてきた。

ところがこの数年の間にインターネットの上で音声や動画像などのマルチメディアデータを、しかもグループで利用するための新たな技術が開発されている。以下ではこれらの技術のなかから遠隔合同ゼミナールの実現に関連したものを取り上げて、その概要をみてみよう。

1 マルチキャストによる特定グループへの配信と MBone

インターネットにおけるメッセージの配信方式には、大別してユニキャストとブロードキャストという2つの方式がある。

ユニキャストとは、ネットワーク上のすべてのホストを識別するためにそれぞれのホストに一意につけられたアドレス（ユニキャスト・アドレス：unicast address）を用いて、相手とポイント・ツー・ポイントの形式でメッセージを交換する方式である。これに対してブロードキャストとは、同一ネットワーク内、またはサブネットワーク内のすべてのホストを意味するアドレス（ブロードキャスト・アドレス：broadcast address）、または IP アドレスの上位4ビットを1110に固定した224.0.0.0から239.255.255.255までのアドレス（マルチキャスト・アドレス：multicast address）を用いて、複数の相手と1:nの形式でメッセージを交換する方式である。

ブロードキャスト・アドレスとマルチキャスト・アドレスを用いたブロードキャストの違いはメッセージの配信される範囲の違いにある。前者は送信ホストが属するネットワーク内、またはサブネットワーク内に限定されているのに対して後者はインターネット上のすべてのホストにメッセージを配信することができるというところにある。また、ブロードキャスト・アドレスは単にメッセージが同一ネットワークまたはサブネットワーク内のすべてのホストを表わすのに対し、マルチキャスト・アドレスは通常のアドレスと異なり、ホストがメンバーになっているグループに対して割り当てられたアドレスであり、この意味でグループ会議をあらわしたアドレスであるといえる⁶⁾。

ユニキャスト方式を用いてグループ会議を行う場合、送信ホストはグループを構成するすべてのメンバーに同一のメッセージを送信しなければならないために送信ホストならびにネットワークには大きな負荷がかかるが、マル

6) マルチキャスト・アドレスには IANA で管理された固定的なもの（メンバーが存在する機関だけ存在する一時的なもの）の2種類がある。固定マルチアドレスの代表的なものには、IETF のオーディオ、NASA の打ち上げ、気象情報、IETF 会議などがある。最新情報については <http://ftp.isi.edu/in-notes/iann/assignments/multicast-addresses> を参照されたい。

マルチキャスト・アドレスとマルチキャストリングはグループ会議に伴うこのようなメンバー相互間でのメッセージ交換の負荷を大幅に軽減しようとしたものであるといえる。

マルチキャストリングによるグループ会議は、会議の ID (すなわちマルチキャスト・アドレス) と利用者の範囲によって決まる TTL (Time To Live) を指定して、会議開催のアナウンスをインターネット上に送信することによって開始される⁷⁾。このメッセージはルータを超えて他のネットワークにブロードキャストされるので、参加者は自分の属するネットワークのルータに参加に関する情報を通知すれば、ルータから指定した会議に関するメッセージがホストに配信される。同様に会議から離脱する場合も離脱に関する情報を単にルータに通知すればよい。IGMP (Internet Group Management Protocol) はグループ会議への参加と離脱に用いられるプロトコルである。

マルチキャストリングと IGMP は IP の機能を拡張したものであるために、現在のところ、これらは推奨基準であるためにすべての IP ルータにこの機能が実装されているわけではない。多くのルータはマルチキャスト・アドレスが指定された IP データグラムを通さない。このためルータの外部にいるホストとマルチキャストリングによるグループ会議を行うためには、まず IP トンネリングによって IP マルチキャスト機能をもつマルチキャスト・ルータ (多くの場合、Unix のワークステーション上に mrouted を実装したもの) をサブネットの上に構築し、次いでマルチキャストを行っているマルチキャスト・ルータとの間を従来の 1 : 1 接続の IP ユニキャストで接続してトンネルを張る必要がある。

トンネルの入り口にあるマルチキャスト・ルータでは、IP ヘッダーの受信

7) セッションの開設には、セッションの内容と名称、使用するメディアとバンド幅、期間と初期 TTL などを mhone-jp@wide.ad.jp にメールで問い合わせをする必要がある。国内向けには 233.133/16 の範囲のアドレスが、海外向けには 224.2/16 の範囲のアドレスを使用する必要がある。また、TTL の値は組織内の場合には 32 以下、国内向けの場合には 64 以下、全世界に向けてパケットを送り出す場合には 65 以上に設定する必要がある。

アドレスにトンネル出口のマルチキャストルータの IP アドレスを用いて IP パケットをカプセル化する。また、トンネルの出口のマルチキャスト・ルータでは受け取った IP パケットから IP ヘッダーを取り除いた IP パケットをマルチキャストルータが属しているサブネット上ホストに配信するという処理が必要になる。

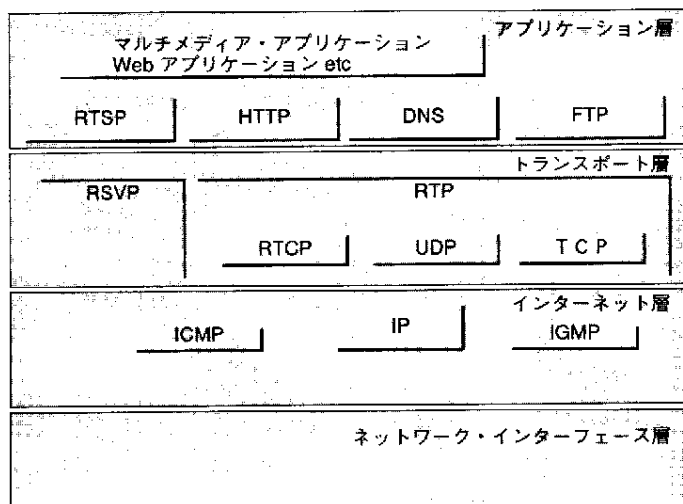
MBone (Multicasting Backbone) はマルチキャストパケットを通過させることのできるルータ (マルチキャスト・ルータ) 間を接続して、インターネット上に張り巡らされた仮想的なネットワークである。MBone の目的は、マルチキャスト機能を備えたルータが行き渡るまでの間、グループ会議のための実験的なテストベンチとして開設されたものである。MBone 上には NetVideo (NV) や Session Directory (SDR) などのようなリアルタイムデータ伝送用のプロトコルを採用したマルチメディアグループ会議用の実験的なアプリケーション・システムも数多く出回って開発されており⁸⁾、最近では市場にマルチキャストの機能を実装したルータも市場に出回りつつある⁹⁾。

ユニキャストとマルチキャスト配信との違いは IP ヘッダーの目的地にクラス D のアドレスが用いられるというところにある。したがって従来のインターネットが持っている長所と短所をそのまま引き継ぐ。マルチキャストはユニキャストの IP データグラムと同様に best-effort な信頼性でもってしかグループのメンバーにメッセージを配信しないが、グループ会議を行う場合、特に多くのメンバーからなるグループ会議では送信ホストとネットワークの負荷を大幅に軽減するところにある。

8) NetVideo はプラットフォームは Xwindow のみという制約はあるが、Realtime Transport Protocol, version 1 (RTPv1) を採用していること、Cu-SeeMe フォーマットでエンコードされたビデオフォーマットもデコード可能であることからリアルタイムビデオ配信ソフトウェアの代表的なものである。SDR は MBone 上の利用者がセッションを予約したり、あるいはセッションに参加したい利用者が参加の意思表示をするために使用するツールである。これらのマルチメディアグループ会議用の実験的なアプリケーション・システムについては <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/> を参照されたい

9) マルチキャストの機能を実装したルータに関する情報は <http://www.mbone.com/mbone/routers.html/> を参照されたい。

図2 リアルタイム伝送に関連したプロトコル



2 リアルタイムデータの配信に関連したプロトコル

時間的な連続性を重要視するリアルタイム型の配信には TCP や UDP に代わるプロトコルが登場してきている。以下では、まず伝統的な TCP や UDP を用いてリアルタイム伝送をおこなった場合の諸問題について考察し、次いでこれらの新たなプロトコルについて述べる。

(1) TCP/IP と UDP/IP によるリアルタイムデータの配信

インターネットの中心的な役割をはたす IP (Internet Protocol) は図2に示すようにインターネット層 (OSI の参照モデルではネットワーク層) に位置するプロトコルである。TCP (Transmission Control Protocol) や UDP (User Datagram Protocol) などのホスト間 (host to host) のデータ伝送を規定したプロトコルはこの上に位置するプロトコルである。

IP の主な機能はアドレスの設定とデータグラムの分解・再組み立てである。アプリケーションや TCP/UDP などの上位のユーザーは送信相手先の IP アドレスと送信データを IP に渡す。これらのデータを IP は図3に示すような

図3 IP ヘッダー

バージョン	ヘッダー長	サービス・タイプ	IPデータグラム長
識別子		フラグとフラグメントオフセット	
Time To Live	Protocol ID	ヘッダー・チェックサム	
送信元 IP アドレス			
受信先 IP アドレス			

フォーマットに成型する。IP のチェックサムは IP のヘッダー部分についてのみ計算されたものである。

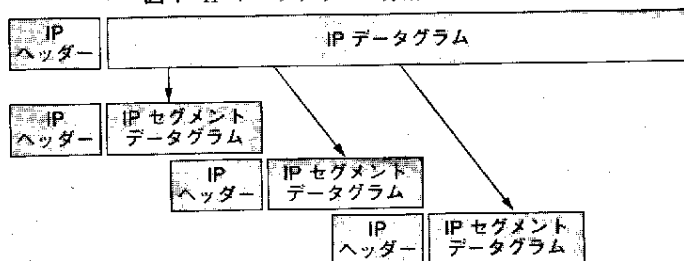
受信先 IP アドレスに指定されたホストでは受信した IP パケットのヘッダー部分のチェックサムを計算し、一致しない場合にはそのパケットを廃棄する。このように IP は信頼性の確保やフロー制御などを一切おこなわないコネクションレス型のプロトコルである。

IP ヘッダーに続く IP データグラムには UDP データグラムや TCP セグメントなどが埋め込まれる。また、IP カプセル化する場合には IP ヘッダーとデータグラムが埋め込まれる。プロトコル ID には UDP データグラムの場合には17、TCP セグメントの場合には6、カプセル化の場合には4がセットされる。送信データの大きさが下位のネットワーク・インターフェース層で決まる最大バッファ長 (Maximum Transfer Unit) より大きい場合には図4のように分解する。

この分解は上位レベルから渡されたデータグラム (またはセグメント) が最大バッファ長を超えた場合にのみ行われる。したがって、リアルタイムデータの伝送に IP データグラムを利用して配信する限り、送信側のアプリケーションは自分自身でマルチメディアデータを適当な長さに分解し、受信側のアプリケーションはそれを再組み立てすることが必要になる。

UDP データグラムのヘッダーを図5に、TCP セグメントのヘッダーを図

図4 IP データグラムの分解と再組み立て



6に示す。

それぞれの図中のチェックサムは、ヘッダー部分とデータ部分にさらに相手先・送信元 IP アドレスなどからなる疑似ヘッダーを加えたものについて計算されたものである。このことから UDP/IP ならびに TCP/IP を用いたデータ伝送では2重のチェックサムによるエラー対策がおこなわれているといえる。

UDP は相手とコネクションを張らずに単に IP アドレスで指定されたホストのポート番号宛てにパケットを送信するというコネクション・レス型の送信方式にてデータを送信する。これに対し TCP では送信に先立って相手の IP アドレスとポート番号を用いてコネクションを確立し、ACK と NAK 信号を交換しながらデータの送信をおこなうというコネクション型の送信方式にてデータを送信する。このことから、UDP では送信したパケットが間違いなく相手に到着することが保証されないが、TCP では送信したすべてセグメントが確実に相手に到着することが保証されているといえる。

UDP と TCP のコネクションレス型とコネクション型という根本的な伝送方式の違いは伝送効率にも影響する。UDP ではパケットが相手に到着したかどうか確認する必要がないために高速なデータの伝送が可能である。これに対して TCP では、相手からの確認応答があるたびにウィンドウをスライドさせながらデータを送信するが、否定応答があった場合にはウィンドウ内のデータを再送するという、データの再送を前提にしたスライディング・ウィンドウ方式にてデータの伝送を行う。このような特徴から TCP は非常にパケット・ロス

図5 UDP ヘッダー

送信元 UDP ポート番号	受信先 UDP ポート番号
UDP データグラムの長さ	疑似ヘッダー・UDP ヘッダー・ UDP データのチェックサム

図6 TCP ヘッダー

送信元 TCP ポート番号	受信先 TCP ポート番号
送信データストリーム中におけるデータ・セグメントの オクテット位置を表わす順序番号	
受信するデータ・セグメントのオクテット位置を表わす 確認応答番号	
データ オフセット	予約
制御ビット	データ転送中の容量バッファ・ サイズを表わすウィンドウ・サイズ
疑似 TCP ヘッダー・TCP ヘッダー・ TCP データグラムのチェック・サム	Urgent ポインター

の多いネットワークで信頼性を確保するために有効なプロトコルであり、ファイル転送などのアプリケーションに利用されている。

ところで、図5と6を比較すると、リアルタイム型のデータをこれらのプロトコルで伝送したときの相違が明らかになる。

UDP でリアルタイム型のデータを伝送する場合、非常に高速で効果的な伝送が期待しうる反面データの伝送単位ごとの順序関係は保証されない。たとえば、A、B、C の順に3つのデータグラムを UDP プロトコルで相手に伝送した場合、受信側にこの3つのパケットのすべてが到着する保証はないし、到着したとしてもこの順序に到達するとはかぎらない。また、順不同で到着したパケットを送信元の発生の時間間隔で再現するための情報はヘッダーにはふくまれていない。

さらに、UDP はコネクション・レス型であり、UDP ヘッダーに送信相手の IP アドレスが含まれていない。このことは送信元ホストならびに受信先ホストには同一のポート番号を使用する UDP プロセスは唯一つでなければならないことを意味する。これに対して TCP では送信に先立って相手と IP アドレスとポート番号で識別される仮想的なコネクションを張るために、同一プロ

トコルとポート番号を持ったプロセスが複数存在してもよい。

TCP は非常にパケット・ロスの多いネットワークで信頼性を確保するために有効なプロトコルであり、HTTP や FTP などのような信頼性を要求するアプリケーションが確実にデータ伝送を行えるように、送受信者の IP アドレスとポート番号で識別される仮想的な通信路を確保し、データの順序、フロー制御やエラーの検出、回復などを行いながらデータの伝送を行う。しかし、TCP でリアルタイム型のデータを伝送した場合には、送信したすべてのパケットは相手のホストに確実に届けられ、その順序もヘッダー内の順序情報を用いて復元できるが、パケット自身の時間的な再現性は保証されない。たとえば、A、B、C の3つのパケットを1秒間隔で送信した場合、受信側では受信したパケットを A、B、C の順序に並べることは可能であるが、それらのパケットを1秒間隔で再現しうる情報はヘッダーには含まれていない。このような TCP の特徴は逆にリアルタイム型の処理を困難にする。エラーが検出された場合、TCP は輻輳制御のためにウィンドサイズを縮小してエラーの回復に努めるが、この処理によって転送速度は極端に低下する。つまり、伝送遅延や遅延のゆらぎに対して敏感であるマルチメディアデータの再生に向かない方式であるといえる。

以上のことから、膨大なマルチメディアデータの伝送には信頼性確保のための送信や順序の確認などの処理を一切行わずに、単に高速にデータグラムの送受信のみを行う UDP のほうが TCP よりも適した方式といえよう。

2) RTP と RTCP

リアルタイム伝送で重要なことは、受信ホストにおいて送信ホストから送られてきたデータのタイミングを再現することにある。RTP (Realtime Transport Protocol) およびそれに付随した RTCP (Real Time Control Protocol) は、TCP や UDP に代わるマルチメディアの伝送に適したトランスポート層での送信ホストと受信ホスト間のプロトコルを規定したものである¹⁰⁾。

10) RTPならびに RTCP に関する詳細な説明は RFC 1889, 1890, 2032, 2250 を参照されたい。

RTPは、図2に示すように、トランスポート層のプロトコルでありながら、従来のUDPやTCPと共存したプロトコルである。RTPはエンドシステム間で動作するという性質（ポート間とポート間の通信の機能）の提供とアプリケーション層でフレーム化を備えたプロトコルである。前述したように、UDPやTCPなどのプロトコルによるリアルタイムデータ伝送の大きな欠点はデータを再現する情報がいずれのヘッダーにも含まれていなかったことである。RTPは、図7に示すように、payloadデータに先行するヘッダー部分にシーケンス番号とタイムスタンプ情報を追加することによってリアルタイムデータの再現をしようとしたものといえる。

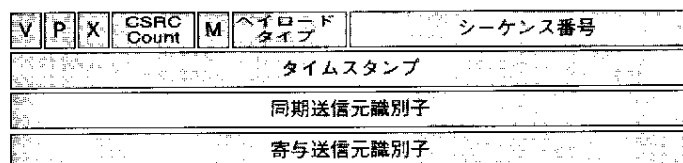
また、図7におけるpayloadタイプの情報は多様なマルチメディアデータの利用を可能にするものである。RTPでは使用可能なpayload typeとそのpayload formatとの対応付けを記述したものと、それぞれのpayload typeについてそのフォーマットを具体的に記述したものが必要になる。たとえば、会議でITU-TのH.261勧告のビデオ形式を使用する場合、RFC 1890によってPT (payload type) は31に、さらにRFC 2032にその具体的なフォーマットが決められている。

さらにRTPヘッダーの同期送信元識別子と寄与送信元識別子は、ネットワークの中継点においてミキシングとトランスレータを可能にするための情報である。

ミキシングとは複数の送信元からのストリームを複合して1つのストリームにする機能であり、トランスレータとは高帯域と低帯域のネットワークの中継点で高帯域用のストリームの内容を変換して低帯域でも流せるように変換する機能である。このミキシングとトランスレータの機能はグループ会議においてマルチメディアデータを利用しようとするに必要不可欠になる機能である。RTPは単にポイント・ツー・ポイントのマルチメディア伝送を指向したものではなく、マルチキャストにおけるグループ会議を前提にしたものである。

RTPは下位プロトコルのフレーム化のみを前提にしたプロトコルであり、

図7 RTP ヘッダー



V: Version
P: Padding
X: Extension
M: Marker

ネットワークの種類を問わない。UDP や TCP のいずれのプロトコルを用いても伝送することができるが、通常は伝送効率のよい UDP が用いられることが多い。この場合、RTP 用のポート番号（デフォルトでは5004）は規定されていない。これは RTP がさまざまなアプリケーション内で実装され、かつ多様なペイロードタイプの使用を想定しているためである。

実際のリアルタイムデータの伝送に用いるポート番号（偶数番号）より1つ上のポート番号（奇数番号）はリアルタイムデータのトラフィック制御のために RTP に付随した RTCP (Real Time Control Protocol) によって使用される。RTCP は主として次の4つの機能を提供するプロトコルである。

- ① データ配信状況のフィードバック情報の提供
- ② トランスポートレベルでの送信元識別子の提供
- ③ グループ会議の全体像を把握するためのメカニズムの提供
- ④ 参加と退出が自由なメカニズムの提供

以上のような機能を果たすために RTCP は次のような5種類の RTCP パケットを交換する。

送信者レポート (SR Packet)

送信者のホストの送信状態と参加者の受信状態に関する情報

受信者レポート (RR Packet)

参加者からの受信に関する情報

送信元記述 (SDS Packet)

送信元に関する情報

退出メッセージ (BYE Packet)

送信元が会議から退出することを通知するメッセージ

アプリケーションメッセージ (APP Packet)

実験用のために予約されたメッセージ

送信者レポートのパケットフォーマットを図8に示す。

(3) RTSP

RTSP (Real Time Streaming Protocol) は、リアルタイムデータの伝送を制御するアプリケーションレベルのプロトコルである。RTSP そのものは時間的に連続したメディアを伝送するものではないが、UDP によってデータが伝送されるときに TCP によってデータの送出の開始や停止、記録などの制御をオンデマンドで制御するコマンド体系で、ネットワーク上におけるリモート・コントロールの機能を果たすものである¹¹⁾。

RTSPは、HTTP と同様に TCP や UDP の上位に位置するプロトコルで、アプリケーションレベルのプロトコルであり、その下位のプロトコルの種類に束縛されない。たとえば、TCP を用いることも、あるいは UDP を用いることも可能である。また、RTSP によって制御されたメディアの伝送には UDP を用いることが多いが、伝送メディアとも独立したプロトコルである。

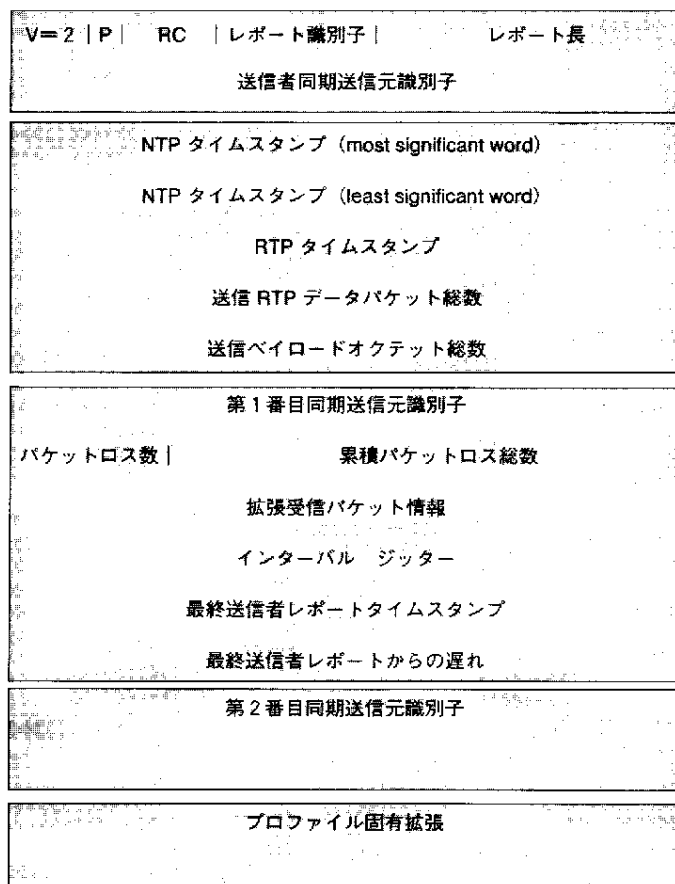
RTSP の主な機能は、① メディアサーバーからメディアの検索、② オンライン会議中のメディアサーバーの導入、③ プレゼンテーション中に別なメディアを追加することにある。

RTSP はプロトコル表現と操作において HTTP と非常に類似したプロトコルであり、クライアントとサーバー間でテキストによるメッセージを交換してマルチメディアデータの送信をリモート・コントロールする。

メッセージには表2に示す11種類のメソッドで始まるメソッドメッセージと表3に示すヘッダーで始まるメッセージならびに RFC 2327 の SDP

11) RTSP, SDP などに関する詳細な説明は RFC 2326, 2327 を参照されたい。

図8 送信者レポートパケットのフォーマット



(Session Description Protocol) で規定された記号で始まるメッセージの3種類がある。このように RTSP はプロトコル表現と操作において HTTP と非常に類似したプロトコルであるが、① RTSP では HTTP にみられるようなコネクションの確立を必要としないこと、② データは別の独立したプロトコルによって送りだされることから、データ伝送のストリームが開始されると

表2 RTSP のメソッド一覧

method	direction	object	requirement
DESCRIBE	C→S	P, S	recommended
ANNOUNCE	C→S, S→C	P, S	optional
GET_PARAMETER	C→S, S→C	P, S	optional
OPTIONS	C→S, S→C	P, S	Required (S→C: optional)
PAUSE	C→S	P, S	recommended
PLAY	C→S	P, S	required
RECORD	C→S	P, S	optional
REDIRECT	S→C	P, S	optional
SETUP	C→S	S	required
SET_PARAMETER	C→S, S→C	P, S	optional
TEARDOWN	C→S	P, S	required

C: Client P: Presentation
S: Server S: Stream

TCP のコネクションを切断してもデータは継続して転送されること、③ RTSPによって制御されるサーバーはストリームごとに現在の状態、たとえば現在クライアントからの要求により再生中であるとか、あるいは一時停止中であるという状態を維持しておく必要があること、などの違いがある。

図9に現在会議中のセッションの内容をメディアサーバーに記録する RTSP の動作例を示す。

(4) RSVP

RTP, RTSP などのプロトコルはリアルタイムの伝送を保証するものでない。その完全な実現には一定の伝送レートが混雑時においても確保されているようなネットワーク (controlled-load network) や一定の遅れ時間内に相手にパケットを配信しうようなネットワーク (guaranteed network) の存在が必要不可欠になる¹²⁾。RSVP (ReSource Reservation Protocol) はこのようなネットワークに対して必要なネットワークサービス (たとえばネットワーク帯

12) controlled-load network や guaranteed network の現状については http://www.iit.nrc.ca/IETF/RSVP_survey/ を参照されたい。

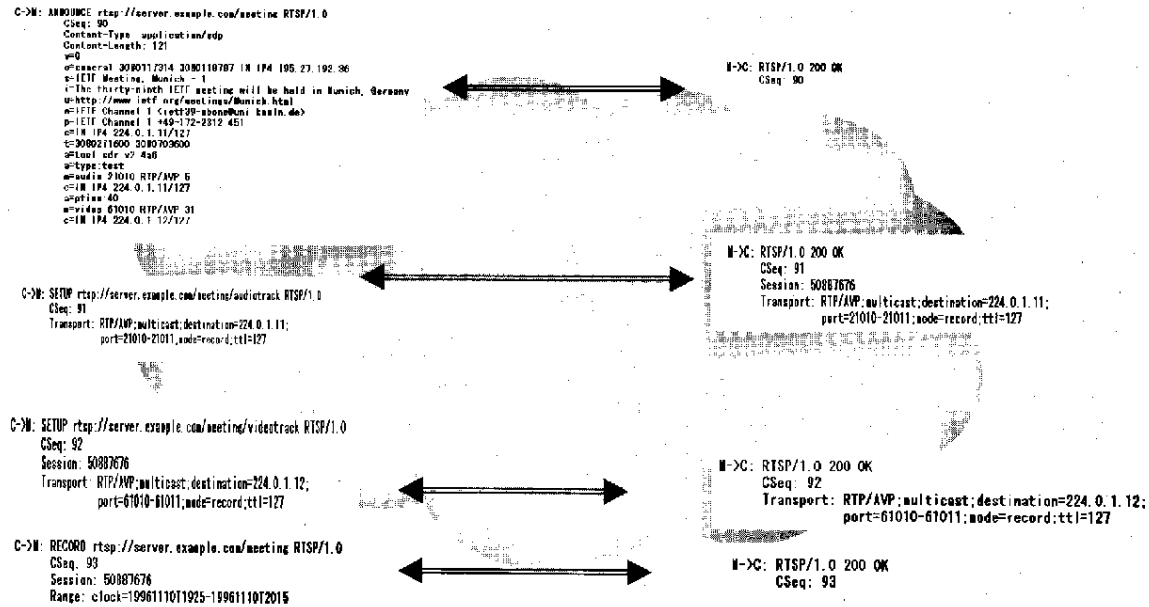
表3 RTSPのヘッダー

Header	type	support	methods
Accept	R	opt.	entity
Accept-Encoding	R	opt.	entity
Accept-Language	R	opt.	all
Allow	r	opt.	all
Authorization	R	opt.	all
Bandwidth	R	opt.	all
Blocksize	R	opt.	all but OPTIONS, TEARDOWN
Cache-Control	g	opt.	SETUP
Conference	R	opt.	SETUP
Connection	g	req.	all
Content-Base	e	opt.	entity
Content-Encoding	e	req.	SET_PARAMETER
Content-Encoding	e	req.	DESCRIBE, ANNOUNCE
Content-Language	e	req.	DESCRIBE, ANNOUNCE
Content-Length	e	req.	SET_PARAMETER, ANNOUNCE
Content-Length	e	req.	entity
Content-Location	e	opt.	entity
Content-Type	e	req.	SET_PARAMETER, ANNOUNCE
ANNOUNCEType	r	req.	entity
CSeq	g	req.	all
Date	g	opt.	all
Expires	e	opt.	DESCRIBE, ANNOUNCE
From	R	opt.	all
If-Modified-Since	R	opt.	DESCRIBE, SETUP
Last-Modified	e	opt.	entity Proxy-Authenticate
Proxy-Require	R	req.	all
Public	r	opt.	all
Range	R	opt.	PLAY, PAUSE, RECORD
Range	r	opt.	PLAY, PAUSE, RECORD
Referer	R	opt.	all
Require	R	req.	all
Retry-After	r	opt.	all
RTP-Info	r	req.	PLAY
Scale	Rr	opt.	PLAY, RECORD
Session	Rr	req.	all but SETUP, OPTIONS
Server	r	opt.	all
Speed	Rr	opt.	PLAY
Transport	Rr	req.	SETUP
Unsupported	r	req.	all
User-Agent	R	opt.	all
Via	g	opt.	all
WWW-Authenticate	r	opt.	all

g: general request header
r: response header

R: request header
e: entity header

図9 RTSPを用いたグループ会議の再生と記録



域の予約や優先使用)を必要な期間継続して予約するためのメカニズムを提供するプロトコルである¹³⁾。

RSVPは、図2に示すように、Ipv4 または Ipv6 の上位に位置するトランスポート層のプロトコルであるが、TCP や UDP のようにアプリケーションデータの伝送を行わない。この意味で RSVP は ICMP や IGMP のようなインターネットを制御するプロトコルであり、データの転送パスとは無関係にバックグラウンドで実行される。

RSVP のネットワークリソースの予約は、要求された QoS を実現するに十分なリソースがあるかどうかを判定するアドミッション制御 (admission control) と予約が許可されたものであるかどうかを判定するポリシー制御 (policy control) という2つの管理モジュールと、それぞれのパケットごとにサービスを選択するパケットクラシファイア (packet classifier) とそれぞれのフローに対して設定された QoS を実現できるリンクへパケットを送り出すパケットスケジューラ (packet scheduler) という2つのトラフィック制御モジュールによって行われる。

RSVP では送信先 IP アドレスとトランスポート層のポート番号で特定されるデータフローをセッションとして扱い、予約の対象になるのはこのデータフローである。予約は要求する QoS の仕様を記述したフローに対して提供すべきサービスの質 (Quality of Service) を規定したフロー仕様 (flowspec) と、フロー仕様で指定された QoS を受けるデータパケットを規定したフィルタ仕様 (filterspec) からなるフロー記述 (flow descriptor) で記述する。

フロー仕様はサービスクラス (Controlled-Load/Guaranteed) と要求したい QoS を定義した (Rspec) とデータフローを記述した (Tspec) から構成され、この情報はパケットスケジューラのパラメータの設定に用いられる。

フィルタ仕様はフロー仕様で設定される QoS を受けるフローを送信元の

13) RSVP に関する詳細な説明は RFC 2205, 2207, 2210, 2211, 2212, 2216, 2379, 2380, 2382 を参照されたい。

IP アドレス (SrcAddress) と UDP/TCP のポート番号 (SrcPort) で構成されており、パケットクラシファイアのパラメータの設定に用いられる。

予約のスタイルには、ある特定のフローに対してのみ予約を行うという固定したスタイル (Fixed-Filter Style) と、複数のフローを共有するスタイルとがある。後者はさらに共有する送信元を明示したスタイル (Shared Explicit Style) と送信元を特定しないスタイル (Wildcard-Filter Style) とがある。

予約はプロトコル番号に46を指定した IP データグラムによって行われる。

RSVP のメッセージ・タイプには7種類あるが、そのなかでもっとも基本的なものは受信ホストから送信ホストに向かって送られる予約要求メッセージ (Resv message) と、予約要求メッセージとまったく逆のパスで送信ホストから受信ホストに向けて送られる (Path message) である。

図10にこれらのメッセージに共通した RSVP ヘッダーを示す。

メッセージはすべての RSVP メッセージに共通する部分とそれぞれのメッセージに固有なオブジェクトフォーマットの部分からなる。各メッセージで選択しうるオブジェクトのタイプは、以下に示すような Backus-Naur Form で記述されている。

```
<Path Message> ::= <Common Header> [ <INTEGRITY> ] <SESSION> <RSVP-HOP>  
    <TIME-VALUES> [ <POLICY-DATA> ] <sender descriptor>  
<sender descriptor> ::= <SENDER-TEMPLATE> | <SENDER-TSPEC>  
    [ <ADSPEC> ]  
<Resv Message> ::= <Common Header> [ <INTEGRITY> ] <SESSION> <RSVP-HOP>  
    <TIME-VALUES> [ <RESV-CONFIRM> ] [ <SCOPE> ]  
    [ <POLICY-DATA> ] <STYLE> <flow descriptor list>  
<flow descriptor list> ::= <empty> | <flow descriptor list> <flow descriptor>
```

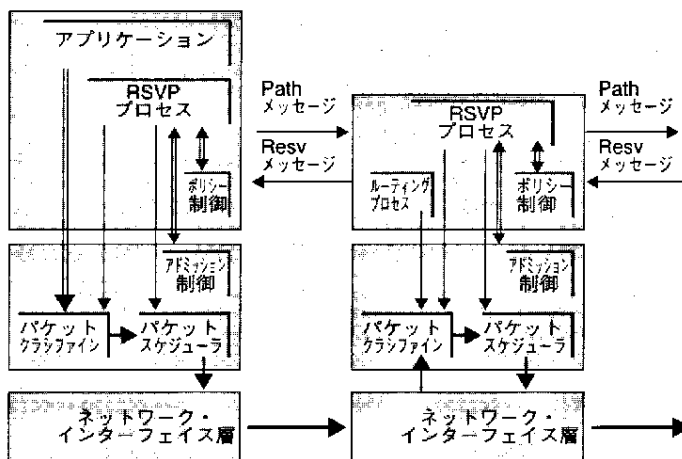
図11にホストとルータ間における RSVP の予約動作を示す。

RSVP はネットワーク資源の予約のセットアップに必要なメッセージの交換の方法を記述したものである。RSVP では、リソースの予約は短期的なものである。受信ホストは定期的に予約要求メッセージを送信し、また送信ホス

図10 RSVP のヘッダー

バージョン	フラグ	メッセージ タイプ	RSVP チェックサム
Time To Live	Reserved		RSVP Length

図11 RSVP によるネットワークリソースの予約



トもデータの送信を開始したあとにも定期的にパスメッセージを送信する。このように RSVP は、ネットワークの動的な変化に対応できるようになっているが、実際にネットワーク資源が確保できるかどうかは Controlled-Load や Guaranteed などのような QoS コントロールサービスによって左右される。

IV 遠隔合同ゼミナールの実現性について

既に述べたように遠隔合同ゼミナールはインターネット上でマルチメディアを双方向に利用しようとした遠隔学習システムである。前節で述べたことからわかるように、遠隔合同ゼミナールをインターネット上で理想的な形で実現しようとするれば、

- ① 帯域または伝送遅れが保証されたネットワークならびにその上でネット

ワークリソースを予約するための RSVP を実装したホストとルータ

② RTP が実装されたホスト

③ ネットワーク上でのマルチメディアサーバーをリモート・コントロールする RTSP を実装したアプリケーション

などが必要不可欠になる。さらに、遠隔合同ゼミナールを効率的に運用するためには、ネットワークはマルチキャストの機能をサポートしていることが望ましいといえる。ところが、大学を取り巻く現状のインターネット環境はこの理想像からほど遠い。たとえば、マルチキャストの機能は、現在のところ実験的な性格が強いために、ネットワーク上のルータの大部分は IP ユニキャストのみを通過させる。マルチキャストパケットを通過させるルータも市場に出回ってきているが、このようなルータを採用してマルチキャストの実験をしようとするれば全学的な規模でのネットワークの再構築か、あるいは、ゼミナールのホストが属しているサブネットの上に自分でマルチキャストルータを構築して外部のマルチキャストルータとトンネルを張る作業が必要になる。サブネット内、あるいはサイト内のすべてのホストにマルチメディアを配信しうるマルチキャストの魅力は大きいがその作業量の多さを考えると当面の間はユニキャストを中心にした配信技術に頼らざるをえない。

さらに全学的あるいは全学部的な規模で運用される遠隔学習システムと異なり、遠隔合同ゼミナールは個人のゼミナールレベルで運用されるシステムである。このことはシステムを構築するときの大きな制約条件になる。すなわち、費用については遠隔学習よりももっと少ない費用でシステムを構築しなければならないという制約をうける。大学によって差異があるが、多くの大学では年間数万から数10万円程度のゼミナール独自の裁量によって支出することのできるゼミナールのための運営費用が予算化されている。システム構築にかかる費用の1つの目安は程度であろう。この範囲におさまるものでなければ実現の可能性が小さくなる。また、遠隔合同ゼミナールには非常に興味があるが、自分でシステムを立ちあげて運営する自信がないという参加者をも対象にした構築

と運営が容易なシステムでなければならないという制約である。

以上のようなネットワーク環境において、遠隔合同ゼミナールシステムがはたして構築しうるかどうか、さらには構築したシステムが実用に耐えうるものかどうか問題になる。しかし、われわれは京都大学の遠隔学習システムで蓄積された Web の処理技術ならびにインターネットとマルチメディアの処理技術進歩のスピードを考慮すれば、解決すべき問題点も数多く残されているが、基本的にはインターネット上で Web を介して多種多様なマルチメディアを自由に操作しうる遠隔合同ゼミナールシステムの構築が可能であると考えている。

われわれは既に、Cu-SeeMe ならびに 1 台のレフレクターを用いて、学内 LAN と ISDN からの小規模な遠隔合同ゼミナールの接続実験をおこなった。その結果、学内 LAN からの接続では QCIF の準動画と明瞭な音声、また ISDN からの接続では秒数コマの疑似動画と明瞭な音声による遠隔合同ゼミナールが可能であるという結論をえることができた。今回の実験はその予備的な実験に続いて実験の対象範囲を拡大したものである。

ところで、遠隔合同ゼミナールの実施に必要な基本的かつ最小限の機能はグループウェアの代表的な製品であるテレビ会議・グループ会議のための機能と類似しているところが多い。現在、市場またはフリーウェアとして入手可能なマルチメディアグループ会議システムには GPSN や ISDN の回線交換網の上で稼動するものと、LAN やインターネットの上で稼動するものがある。また、インターネットの上で稼動するものにも UNIX をプラットフォームにした NetVideo や RAT, VIC, WB など、Windows 95/NT をプラットフォームにした moNet, eye 2 eye, NetMeeting, Cu-SeeMe, ProShare などがある。

今回の実験の主たる目的は遠隔合同システムの構築の可能性とその可用性を考察することであり、個々の製品の仕様を検討することではない。そこで今回の実験でも、前回の実験と同様にインターネット上のテレビ会議・グループ会議のデファクト・スタンダードになっており、かつ経済的に優れたシステムで

もある Cu-SeeMe を用いることにした。

特に双方向の指向したシステムではそれぞれのサイトの PC には映像入力用のカメラとキャプチャボードが必要になる。膨大なマルチメディア情報をネットワークに送りだすためには圧縮処理が必要不可欠になるが、圧縮は伸張に比べて約数10倍程度の CPU 負荷と特別な演算回路が必要になる。このため現在の最高水準の機能を持った PC でもって処理が困難なため、専用のハードウェアが必要になる。QCAM などの既設の映像入力装置とキャプチャボードを組み合わせた場合、自分でインターフェースを設定する必要があるが、製品版の Cu-SeeMe にはこの2つをバンドルしたものの入手可能であることから非専門家でも簡単に実験に参加することが可能であることなどが Cu-SeeMe を採用した大きな理由でもある。

1 実験の概要

遠隔合同ゼミナールの実現の方法は、参加ゼミナールの範囲によって異なる。

- ① すべての参加ゼミナールが同一のサブネットに集中している場合
- ② 参加ゼミナールが同一サイトのネットワーク上に分散して存在している場合
- ③ 参加ゼミナールがサイトを越えて複数のサイトにまたがって分散している場合

最近インターネットのレスポンスが遅いために、インターネットを使用した講義などに支障がでているということが話題になることが多いが、これは主としてネットワーク間の回線容量が小さいためであろう。①と②の場合、ゼミナール相互間のパケットはネットワーク間を経由しないため、高速な伝送レートとエラー損失のない配信が可能である。特に①の場合には、パケットはルータを経由しないためマルチキャストイングを利用した配信が可能である。前述したように、TCP/IP は信頼性に乏しいネットワークにおいて優位な伝送方式であるが、このようなネットワーク環境では、UDP/IP を用いた伝送との

効率の差は大きくないといえる。また、①の場合、パケットはルータを経由しないためにユニキャストの配信方式に加えてマルチキャストによる配信方式も可能となる。

③の場合の実現方式はユニキャストとマルチキャスト、さらにはアプリケーション・システムのグループ会議の実現方法（たとえばリフレクタなど）をどのように組み合わせるかによって次のような多様な実現形式が考えられる。

- ① 1つのリフレクタとユニキャストのみによってサイト間の遠隔合同ゼミナールを実現する方法
- ② 複数のリフレクタとユニキャストを用いてサイト間の遠隔合同ゼミナールを実現する方法
- ③ 複数のリフレクタとユニキャストおよびマルチキャストを用いてサイト間の遠隔合同ゼミナールを実現する方法
- ④ マルチキャストのみでサイト間の遠隔合同ゼミナールを実現する方法

今回の実験では、図12に示すように京都大学経済学部と岐阜聖徳学園大学経済情報学部を設置されたリフレクタを同志社大学、大阪経済大学、大阪商業大学、甲南大学などのクライアントから、次のような2つの接続形態の実験を行った¹⁴⁾。

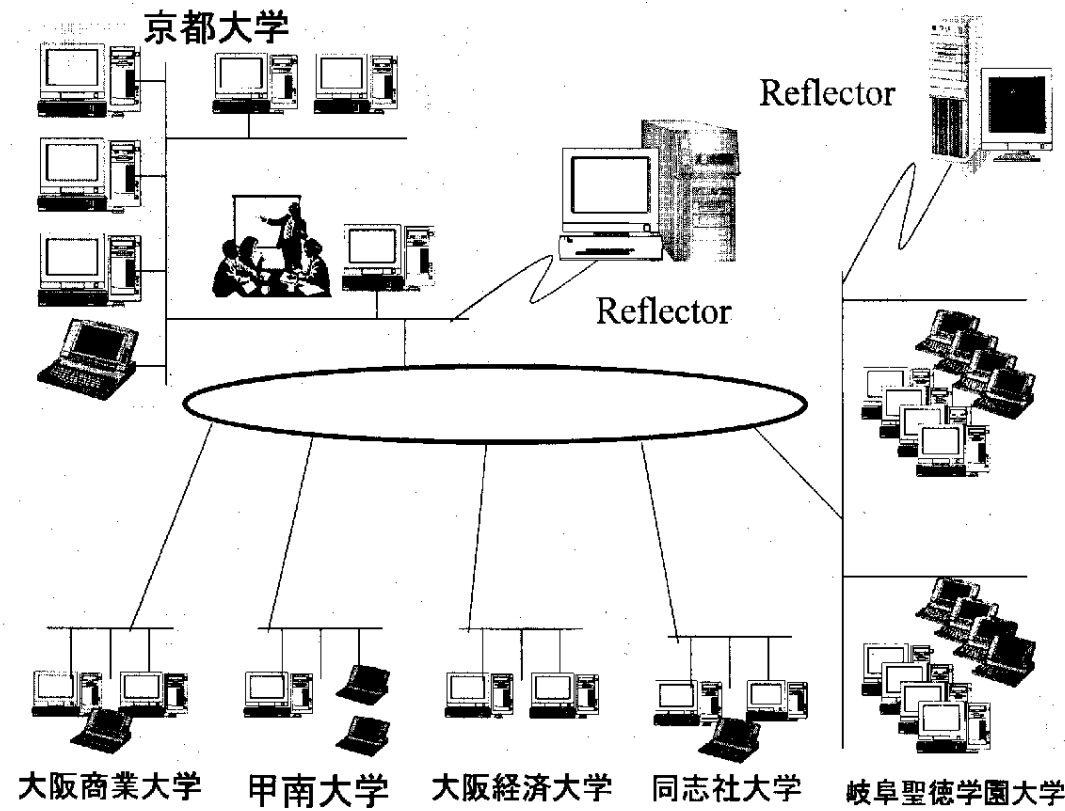
形態Ⅰ：異なるサブネットに存在するゼミナール間を1つのリフレクタで接続し、合同ゼミナールを実施する形態。

形態Ⅱ：1つのサブネットワーク内のホスト同士をリフレクタで接続し、さらにそのリフレクタ間をユニキャストで接続して合同ゼミナールを実施する形態。

Cu-SeeMe とリフレクタを利用したグループ会議は TCP/IP でもってパケットのやりとりをする。形態Ⅰは、LAN 上で TCP/IP によってリアルタ

14) ③と④の方法による実現の可能性については、日下岐阜聖徳学園大学と大阪商業大学で実験中である。これらの実験の成果についてはそれぞれの大学の論集を参照されたい。

図12 実験の構成図



イム型データの配信が可能であるかどうか検討しようとしたものである。

遠隔合同ゼミナールの参加者の増大はネットワーク上を流れる負荷の増大をもたらす。これを軽減する1つの方法は複数のリフレクタを導入することである。形態Ⅱの実験は複数のリフレクタを導入することによって負荷の軽減がどの程度改善されるかしらべようとしたものである。

2 実験結果について

実験の参加者の反応は2つに大別できる。1つは受信画質が想像以上に悪いという反応であり、他の1つは低帯域での運用にもかかわらず、双方向の音声、動画を利用し合同ゼミナールの相互運用が可能になるという反応である。

前者は、家庭でのテレビやパソコンの画面の品質を期待した利用者の反応であり、後者はマルチメディア情報が膨大であるという何らかの知識を持った利用者からの反応である。現行のインターネットの回線能力では放送メディアや専用回線メディアのような高品質なマルチメディアデータの配信は期待しえない。むしろ、同期のとれた音声、動画、ホワイトボード、スライド、さらにはこれらのメディアを組み合わせたマルチメディアを採用することによって、インターネットを利用した遠隔合同ゼミナールは、これまでにない新たな教育環境を提供しうる可能性があるというところにある。

今回の実験結果を要約すると次のようになる。

まず、形態Ⅰの実験では、ファイア・ウォールのために一部のクライアントからの接続は困難であったが、接続可能な場合は 64 kbps 帯域を使用した音声と動画の送受信が可能であった。これはリアルタイムデータの伝送は、UDP/IP のほうがより効率的であるが、同一サブネット上では TCP/IP を用いた伝送でも十分実用に耐えうるシステムが実現できることを示唆したものである。また、最近設置の容易さから無線 LAN を使用した学内 LAN の構築がおこなわれている。この場合でも、きわめて明瞭な音声と安定した動画の送受信が可能であった。

また、参加クライアント数を増やしても大きな品質の劣化はみられなかったし、また他の利用者からネットワークのレスポンスが低下したという苦情もなかった。

今回の実験では同一サブネット上におけるマルチキャストリングによる実現の可能性を考察するために、リフレクタを用いずに同一サブネット内のホストを Cu-SeeMe のマルチキャスト機能を用いて約50台のホストが参加した合同ゼミナールの実験をも試みた。この場合、きわめて高品質な音声と動画の転送がおこなえた¹⁵⁾。

以上のことから、10 Mbps 程度の学内 LAN でも他の利用者に影響を与えずに、複数のゼミナール間における遠隔合同ゼミナールの実現の可能であるといえる。

ところで、形態Ⅰの接続において、他のサイトにあるクライアントからリフレクタに接続した場合、ネットワークが比較的空いている夜間では明瞭な音声と動画の伝送が可能であったが、日中などの混んでいる時間帯では形態Ⅰの 64 kbps で接続した程度の品質しかえることができなかった。これは実験に用いた Cu-SeeMe が採用している伝送プロトコルである TCP の特徴から推論しうる結果である。

音声や動画像のデータは再生に時間的な連続性を必要とするが、ファイル転送のような高信頼性を必要としないために、ネットワークの揺らぎによって大きな影響をうけるような場合には信頼性を重視した TCP/IP よりも効率を重視した UDP/IP による伝送のほうが望ましい。Cu-SeeMe ではリフレクタ間の接続に UDP/IP が用いられている。このことから、ネットワークが混雑している場合には異なるサイトのリフレクタへアクセスする場合には、TCP/IP を用いて直接異なるサイトのリフレクタに接続するよりも、それぞれのサブネットにリフレクタを設置し、リフレクタを UDP/IP で接続したほうがより良好な結果が期待できる。

形態Ⅱの UDP/IP を用いた実験ではネットワークが比較的混雑した状況に

15) 無線 LAN の実効帯域は約 400 kbps 程度であるといわれている。

においても良好な伝送結果がえられた。TCP/IP を利用した伝送では、ネットワークが混雑している場合には、圧縮の方式をより小さい伝送レートのものに変更しても品質を向上させることができなかった。このことは、TCP を用いたリアルタイムの伝送では、伝送品質は伝送サイズの大きさよりネットワークの状態により敏感であるということを示唆するものといえる。

以上の結論は、マルチメディア・データとプロトコルの特徴から理論的に類推しうる結論と矛盾しないものである。今回の実験ではさらに次のようなことが明らかになった。

第1に、音声と動画の優先順位である。音声と動画を同時に扱う処理では同期のとれた処理が要求されるが、今回の実験で明らかになったようにネットワークが混雑してきた場合、この等時性を要求しすぎると音声と動画ともに品質が低下してしまう。現在市場に出回っている製品や規準化案にはメディア間の優先順位を考慮したものはみあたらないが、音声の品質だけは確保し余裕の部分で動画を送受信するという機能は遠隔合同ゼミナールの実現に必要不可欠であるといえる。

第2に画質の精度である。今日の動画の圧縮技術は DCT による時間領域から周波数領域に変換した後の量子化の段階で高周波数成分をカットしてしまう。このため、黒板などに書いた文字や図形情報などのような輪郭を重視した画像は非常にぼやけたものになってしまう。画像圧縮に DCT をもちいるかぎりこの現象は回避しえないものである。

今回の実験では実施しなかったが、遠隔合同ゼミナールでは音声と動画という組み合わせよりも音声とホワイトボードまたはパワーポイントなどで出力されたスライドキャストのほうがより効果的ではないかという意見も多かった。これらの諸問題については別な機会に報告する。

V お わ り に

本稿は、インターネット上においてマルチメディアを利用した遠隔合同ゼミ

ナルの実現の可能性およびその可用性を考察したものである。

今日、インターネット上のビデオオンデマンド放送にみられるように、膨大なマルチメディアデータを配信するシステムはUDPを用いたストリーミング技術が主流になりつつある。それにもかかわらず、今回の実験でTCP上アプリケーション・システムであるCu-SeeMeを採用したのはゼミナール教育では双方向の伝送が必要かつ不可欠な条件であると考えたからである。

双方向性を最重要視する遠隔合同ゼミナールでは、原則として参加するすべてのクライアントに上のビデオカメラやキャプチャボード、さらにはハードウェアによるエンコードボードが必要になる。マルチメディアデバイスの価格の低下に伴い、このような送信機能をもった設備も数年前に比べると非常に準備しやすくなったが、ゼミナール単位で考えるとやはり負担が大きい。この点でCu-SeeMeは、リアルタイム型のマルチメディア伝送用のプロトコルに対応していないという問題点もあるが、マルチキャストをサポートしていないネットワークにおいても負荷の軽減がはかれるマルチキャスト配信ができるという点で経済性にすぐれたシステムであるといえる。

遠隔合同ゼミナールの最終目標は、Sadamichiらが京都大学経済学部で構築した遠隔学習システムで培われたマルチメディアの双方向型の処理技術とWWW技術にその後に登場してきたリアルタイム用のプロトコルを取り入れて、より柔軟で多様なマルチメディアの利用を可能にする教育システムを作り上げることにある。

今回の実験はその可用性を見極めるための予備的な実験であったが、ストリーミング技術とWWW技術を組み合わせた遠隔合同ゼミナールの構築方法については別な機会に論じる¹⁶⁾。

16) リアルタイムプロトコルに対応したマルチメディアグループ会議のための実験的なシステムが数多く出回ってきている。Cu-SeeMeならびにこれらの製品を用いた遠隔合同ゼミナールの構築については、岐阜聖徳学園大学のワーキング・ペーパーを参照されたい。